



PCT/FR 03/0 1742

10/517968

RECEIVED	
26 AUG 2003	
WIPO	PCT

#2

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 30 MAI 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

BEST AVAILABLE COPY

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr

Réservé à l'INPI

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260899

REMISE DES PIÈCES

DATE

**13 JUIN 2002**

LIEU

**75 INPI PARIS**

N° D'ENREGISTREMENT

**0207262**

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

**13 JUIN 2002**

PAR L'INPI

**Vos références pour ce dossier**

(facultatif) B14042.3/PV FD 347

**1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE**  
**À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE**

BREVATOME  
3 rue du Docteur Lancereaux  
75008 PARIS

**Confirmation d'un dépôt par télécopie**

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

**2 NATURE DE LA DEMANDE**

**Cochez l'une des 4 cases suivantes**

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

*Demande de brevet initiale*

N°

Date  /  /

*ou demande de certificat d'utilité initiale*

N°

Date  /  /

Transformation d'une demande de

brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date  /  /

**3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)**

DISPOSITIF ELECTROMAGNETIQUE DE FUSION ET D'AGITATION INTERFACIALE DE SYSTEMES  
DIPHASIQUES, NOTAMMENT POUR L'ACCELERATION DE PROCESSUS METALLURGIQUES OU  
PYROCHIMIQUES.

**4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ**  
**OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE**  
**LA DATE DE DÉPÔT D'UNE**  
**DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE**

Pays ou organisation

Date  /  /

N°

Pays ou organisation

Date  /  /

N°

Pays ou organisation

Date  /  /

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

**5 DEMANDEUR**

☐ S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

Nom ou dénomination sociale

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

Prénoms

Forme juridique

Etablissement public de caractère Scientifique, Technique et Industriel

N° SIREN

Code APE-NAF

Adresse

Rue

31-33 rue de la Fédération

Code postal et ville

75752 PARIS 15ème

Pays

FRANCE

Nationalité

FRANCAISE

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)



# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>13 JUIN 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0207262</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI		DB 540 W / 2
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		B14042.3/PV FD 347		
<b>6 MANDATAIRE</b>				
Nom		LEHU		
Prénom		Jean		
Cabinet ou Société		BREVATOME 422.5/S002		
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		7068 du 12.06.98		
Adresse	Rue	3 rue du Docteur Lancereaux		
	Code postal et ville	75008	PARIS	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01.53.83.94.00		
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01.45.63.83.33		
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		brevets.patents@brevallex.com		
<b>7 INVENTEUR (S)</b>				
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée		
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformatio		
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :		
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes				
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)  J. LEHU 422-5 S/002		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>  C. TRAN		

**DISPOSITIF ELECTROMAGNETIQUE DE FUSION ET D'AGITATION  
INTERFACIALE DE SYSTEMES DIPHASIQUES, NOTAMMENT POUR  
L'ACCELERATION DE PROCESSUS METALLURGIQUES OU  
PYROCHIMIQUES**

5

**DESCRIPTION**

**DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne un  
dispositif de fusion et d'agitation interfaciale d'un  
10 système diphasique.

Elle s'applique notamment à l'accélération  
de processus métallurgiques ainsi qu'à l'accélération  
de processus pyrochimiques.

15 **ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

Les procédés métallurgiques d'élaboration  
ou de raffinage mettent généralement en œuvre deux  
phases immiscibles entre lesquelles des échanges de  
matières se réalisent.

20 La fusion des phases peut être assurée de  
différentes manières, par exemple par effet Joule ou  
par induction.

L'agitation de l'interface des deux phases  
met en œuvre des moyens mécaniques ou pneumatiques.  
25 Cette agitation est indispensable à l'accélération des  
processus physico-chimiques afin d'atteindre des temps  
d'équilibre suffisamment courts pour que les procédés  
soient rentables.

La figure 1 est une vue schématique et  
30 partielle d'un dispositif connu, permettant de faire

fondre un système diphasique et d'agiter l'interface de ce système.

Ce dispositif connu comprend un creuset froid 2. Des moyens 3 de circulation d'eau permettent  
5 de refroidir ce creuset 2.

Le dispositif de la figure 1 comprend aussi un inducteur 4 qui entoure le creuset 2 et qui est alimenté par une source 6 de courant de haute fréquence, pour créer, dans le creuset 2, un champ  
10 électromagnétique de haute fréquence.

Ce champ engendre, dans le système diphasique contenu dans le creuset, des courants induits qui dissipent de la puissance par effet Joule et font fondre le système diphasique. Ce dernier est  
15 constitué de deux phases immiscibles, à savoir une phase inférieure 8 et une phase supérieure 10, qui sont séparées par une interface 12.

Les lignes 14 de la figure 1 symbolisent le brassage interne de la phase inférieure 8. Ce brassage  
20 est engendré par les courants induits.

Le dispositif de la figure 1 comprend aussi des moyens mécaniques 16 permettant d'agiter l'interface 12.

On peut envisager d'utiliser le dispositif  
25 "monofréquence" de la figure 1 avec le système diphasique dont la fusion conduit à une phase inférieure 8 constituée par un métal liquide et une phase supérieure 10 constituée par un sel fondu.

Il est possible de fondre ces phases en  
30 utilisant le creuset froid 2 (ou un creuset chaud) mais le transfert d'espèces chimiques vers la phase

supérieure 10 à partir de la phase inférieure 8 (qui est susceptible de contenir ces espèces chimiques) ne peut être effectué qu'avec une agitation suffisante de l'interface 12.

5 Or des milieux constitués par les phases 8 et 10 sont susceptibles de présenter une très forte réactivité qui empêche l'introduction d'une troisième phase dans ces milieux et interdit donc toute agitation mécanique ou pneumatique de ceux-ci.

10 En effet, une agitation mécanique (respectivement pneumatique) conduirait à introduire un solide (respectivement un gaz) dans ces milieux.

De plus, dans le cas où le milieu inférieur 8 est métallique, il s'avère que l'agitation 15 électromagnétique liée à l'application d'une haute fréquence se limite à ce milieu métallique et n'a pas d'effet suffisant à l'interface 12 des milieux 8 et 10.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

20 La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précédents. Elle permet :

- la fusion des phases dans un creuset froid ou un creuset chaud,
- l'agitation de la phase inférieure (qui 25 peut être un bain métallique),
- l'agitation de l'interface séparant les phases, et
- l'agitation de la phase peu conductrice en choisissant la fréquence de

modulation dans la partie basse de la gamme.

Dans l'invention, ces agitations sont obtenues sans contact avec les phases.

5 En outre, l'invention permet d'agiter localement l'interface pour minimiser l'effet de barrière de transfert que constitue une sous-couche de diffusion, susceptible de se former à l'interface, et pour renouveler les espèces chimiques à transférer à  
10 travers l'interface, entre les deux phases.

De façon précise, la présente invention a pour objet un dispositif de fusion et d'agitation interfaciale d'un système diphasique, ce dernier comprenant des première et deuxième phases immiscibles,  
15 séparées par une interface, ce dispositif comprenant :

- un creuset, destiné à contenir le système diphasique, et
- des moyens de fusion et d'agitation prévus pour la fusion des première et deuxième phases  
20 et l'agitation de l'interface de celles-ci, ce dispositif étant caractérisé en ce que les moyens de fusion et d'agitation comprennent
  - un inducteur entourant le creuset et
  - des moyens d'alimentation de cet  
25 inducteur par un courant variable ayant au moins une composante, cette composante étant apte à agiter l'interface des première et deuxième phases.

Selon un premier mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, le  
30 creuset est un creuset froid et le courant variable a des première et deuxième composantes, la première

composante ayant une première fréquence et étant apte à faire fondre les première et deuxième phases, la deuxième composante ayant une deuxième fréquence, qui est inférieure à la première fréquence, et étant apte à agiter l'interface des première et deuxième phases.

Selon un mode de réalisation préféré de ce dispositif, les moyens d'alimentation de l'inducteur sont aptes à fournir un courant alternatif ayant la première fréquence, ce courant alternatif étant modulé par la deuxième fréquence.

De préférence, les moyens d'alimentation de l'inducteur comprennent

- un condensateur formant, avec l'inducteur, un circuit oscillant qui fonctionne à sa propre fréquence de résonance, cette fréquence de résonance formant la première fréquence,

- un générateur à induction prévu pour alimenter ce circuit oscillant, et

- un générateur de fonction prévu pour imposer la modulation à la deuxième fréquence et pour fournir un courant de consigne au générateur à induction.

De préférence, la puissance du générateur à induction est dans l'intervalle allant de 10 kW à 300 kW.

De préférence, la fréquence de résonance est dans l'intervalle allant de 1 kHz à 20 kHz.

Cette fréquence de résonance vaut, de préférence, environ 14 kHz.

La fréquence de modulation est, de préférence, dans l'intervalle allant de 0,5 Hz à 10 Hz.



Selon un deuxième mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, le creuset est un creuset chaud.

5 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la fréquence de composante qui est apte à agiter l'interface des première et deuxième phases est choisie suffisamment basse pour que la composante soit en outre apte à agiter la deuxième phase, lorsque cette dernière est peu électriquement conductrice, cette  
10 deuxième phase étant au-dessus de la première phase.

Le dispositif objet de l'invention peut comprendre en outre des moyens de maîtrise des gradients thermiques à l'intérieur des première et deuxième phases.

15 Ces moyens de maîtrise peuvent comprendre des écrans ou des suscepteurs.

Le dispositif objet de l'invention s'applique en particulier à la fusion et l'agitation interfaciale d'un système diphasique dans lequel la  
20 première phase est un métal et la deuxième phase est un laitier ou un sel.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à  
25 la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique et  
30 partielle d'un dispositif "monofréquence" connu, à

creuset froid, agité mécaniquement, et a déjà été décrite,

- la figure 2 est une vue schématique et partielle d'un dispositif "bifréquence" conforme à l'invention, à creuset froid, agité électromagnétiquement,

- la figure 3 est un schéma d'un exemple de moyens d'alimentation électrique de l'inducteur du dispositif de la figure 2, et

- la figure 4 est une vue schématique et partielle d'un dispositif conforme à l'invention, à creuset chaud, agité électromagnétiquement.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Un dispositif conforme à l'invention permet d'accélérer les échanges chimiques entre deux phases immiscibles chauffées par induction. Ce dispositif assure conjointement la fusion des deux phases, le brassage de la phase inférieure, qui est par exemple un métal liquide, et l'agitation de l'interface entre les phases.

Conformément à l'invention, l'ensemble de ces fonctions est assuré par l'utilisation d'un creuset froid alimenté par un courant électrique alternatif à deux fréquences, à savoir une haute fréquence et une basse fréquence.

Il est ainsi possible, sans aucun contact avec le milieu réactionnel,

- d'assurer le chauffage et la fonte de la phase inférieure (phase métallique dans l'exemple)

grâce à la composante de haute fréquence du courant inducteur, le chauffage et la fusion de la phase supérieure (laitier oxyde ou salin dans l'exemple) s'opérant par conduction et convection,

5 - d'assurer le brassage du bain métallique grâce à la même composante de haute fréquence, et

- d'assurer l'agitation de l'interface entre la phase métallique et le laitier à l'aide de la composante de basse fréquence du courant.

10 La figure 2 est une vue schématique d'un dispositif conforme à l'invention, permettant la fusion du système diphasique par l'application d'une double fréquence. Dans ce cas, l'agitation de l'interface 12 est assurée électromagnétiquement et donc sans contact.

15 Pour réaliser de manière optimale le brassage interne et le chauffage, la haute fréquence est choisie selon le critère classique suivant :

$$0,1 < \delta/R_i < 0,3$$

où  $R_i$  représente le rayon intérieur du creuset 2 et  $\delta$  l'épaisseur de peau électromagnétique dans le métal liquide 8.

20 L'agitation de l'interface 12 est obtenue par un choix judicieux de la composante de basse fréquence du courant inducteur. Celle-ci est définie à partir des fréquences propres des ondes gravito-capillaires de l'interface de la façon suivante :

$$f_b \approx (g/2\pi R_i)^{1/2}$$

où  $f_b$  représente la fréquence de la modulation à basse fréquence du courant inducteur et  $g$  l'accélération de la pesanteur

30 Selon la valeur précise de cette fréquence

de modulation, on peut choisir la longueur d'onde de déformation de l'interface 12 en fonction de l'espace à transférer et de l'état de passivation de cette interface 12.

5                   Le dispositif de la figure 2 comprend des moyens 18 d'alimentation de l'inducteur 4. Ces moyens 18 permettent d'engendrer un courant de haute fréquence qui est modulé par une basse fréquence.

10                   Un exemple de ces moyens 18 est schématiquement représenté sur la figure 3 et comprend un générateur de fonction 20, un générateur à induction 22 et un condensateur 24 formé par une batterie de condensateurs élémentaires.

15                   Le système formé par l'inducteur 4 et le creuset froid 2 de la figure 2 est caractérisé, sur la figure 3, par une résistance R et une inductance L.

L'inducteur est monté en parallèle avec la batterie de condensateurs 24 et forme avec cette dernière un circuit oscillant.

20                   Le générateur à induction 22 a une puissance de 100 kW et alimente ce circuit oscillant. Ce dernier travaille à sa propre fréquence de résonance qui est d'environ 14 kHz.

25                   La modulation est imposée par le générateur de fonction 20.

Dans l'exemple de la figure 3, ce générateur 20 est du genre de ceux qui sont commercialisés par la société Metrix.

30                   Le générateur de fonction 20 fournit un courant de consigne à l'entrée du générateur à induction 22. On précise que ce dernier est monté en

parallèle avec la batterie de condensateurs 24.

Le courant inducteur obtenu a l'allure classique d'un signal porteur sinusoïdal, modulé par un autre signal sinusoïdal, le signal porteur ayant la  
 5 fréquence propre du circuit oscillant (haute fréquence) tandis que la fréquence de l'autre signal sinusoïdal correspond à la basse fréquence mentionnée plus haut.

Des études préalables ont été faites pour caractériser l'influence de divers types d'agitation  
 10 sur les transferts de masse à travers une interface métal/liquide.

Tout d'abord, des expériences de transfert ont été réalisées sur une poche de mercure placée dans une bobine solénoïdale, parcourue par un courant  
 15 électrique alternatif. Selon la fréquence de ce courant, il est possible de créer dans le mercure trois types de mouvement :

- un brassage électromagnétique à coeur sans oscillation de surface ( $f > 20\text{Hz}$ )
- 20 • des oscillations de l'interface mercure-électrolyte sans brassage interne ( $f < 10\text{ Hz}$ ).
- un brassage interne avec oscillations de surface superposées, qui constitue un régime mixte ( $10\text{ Hz} < f < 20\text{ Hz}$ ).

25 Les expériences ont été réalisées avec une cuve de diamètre égal à 178 mm et une hauteur de mercure égale à 124 mm.

On a déterminé des coefficients d'échange obtenus en fonction de l'intensité de la vitesse du  
 30 fluide, qui est proportionnelle à l'intensité du courant inducteur et l'on a trouvé que la fréquence  $f$

égale à 14 Hz (régime mixte) donne les valeurs les plus élevées des coefficients d'échange.

Il a été possible, à partir des mesures et de l'analyse de similitude, de formuler, pour le coefficient d'échange  $k$ , une loi semi-empirique qui est valable dans le cas de vitesses importantes et telle que :

$$k = a(D_m/d) (\rho U^2 / (\rho g \gamma)^{1/2})^{3/4} \quad [1]$$

$k$  : coefficient d'échange encore appelé coefficient de transfert de masse (m/s)

$D_m$  : coefficient de diffusion de l'espèce dans sa matrice liquide

$d$  : diamètre de la poche,

$U$  : vitesse caractéristique du bain

$\rho$  : masse volumique du bain

$g$  : accélération de la pesanteur

$\gamma$  : tension interfaciale.

$a$  est un coefficient empirique caractérisant l'efficacité de l'agitation. Les valeurs issues des expériences réalisées avec du mercure sont:

$a$  de l'ordre de  $10^3$  pour l'agitation de surface seule,

$a$  de l'ordre de  $1,3 \times 10^4$  pour l'agitation interne,

$a$  de l'ordre de  $2,8 \times 10^4$  à  $6,0 \times 10^4$  pour le régime mixte.

Les mesures du coefficient de transfert de masse à l'interface en fonction des différents types d'agitation ont montré que le transfert le plus efficace était obtenu dans le cas du régime mixte. Le gain de transfert varie d'un facteur 2 à 5 et

s'explique par les raisons suivantes :

- Le brassage interne est indispensable pour renouveler les espèces chimiques près de l'interface mais il n'est pas suffisant pour rompre la  
5 barrière de diffusion.

- Les ondes de surface ont pour effet de créer une agitation locale à l'interface et de diminuer l'effet de la barrière de diffusion. De plus, des essais spécifiques ont démontré que ce type d'agitation  
10 permet de briser les éventuelles couches de passivation qui perturbent l'ensemble des processus physico-chimiques de transfert.

Des essais d'agitation menés à chaud ont démontré également la nécessité d'avoir une agitation  
15 globale du bain ainsi que de l'interface.

Un essai de transfert a été réalisé à 750 °C entre un bain métallique à base de zinc et une phase saline fluorée.

Sans agitation d'interface, un grand nombre  
20 de particules métalliques sont réduites mais non transférées. Dans ce cas, l'opération de transfert n'est pas réalisée et ne peut se faire dans un temps raisonnable (inférieur à 24h).

Avec agitation interfaciale, les éléments  
25 réductibles sont entièrement transférés vers la phase métallique. Dans ce cas, l'opération de transfert est réalisée en quelques minutes.

Les mêmes observations ont été réalisées avec l'utilisation d'alliages Al-Cu et le sel  $\text{LiF-CaF}_2$ .

30 On a également vérifié que l'utilisation de la voie électromagnétique évite l'inclusion d'éléments

de contamination provenant de systèmes d'agitation mécanique.

Une étude approfondie des phénomènes physico-chimiques qui se produisent dans ces milieux  
5 diphasiques a démontré la possibilité de voir apparaître, à l'interface, des couches de passivation induisant des phénomènes galvaniques de part et d'autre de l'interface.

Ainsi, des éléments peuvent être réduits  
10 directement au sein du sel par transfert électronique, sans qu'il y ait transfert de ces éléments vers la phase métallique. On se retrouve alors dans le cas d'une phase saline chargée en espèces métalliques réduites n'ayant pas décantées vers la phase  
15 métallique.

Le fait de mettre en oeuvre une agitation interfaciale empêche la formation de ces couches passivantes et permet l'épuration totale de la phase saline. Cela met en évidence l'absolue nécessité  
20 d'entretenir une agitation interfaciale afin d'épurer totalement l'une des deux phases.

On a estimé numériquement la vitesse caractéristique  $U$  d'un bain d'acier liquide contenu dans un creuset froid de 60 mm de diamètre, engendrant  
25 un dôme statique d'une hauteur  $H$  de 30mm :

$$U \approx 0,4 (gH)^{1/2} = 0,22 \text{ m/s.}$$

Pour  $\gamma = 1,7 \text{ N/m}$  et  $\rho = 7200 \text{ kg/m}^3$ , la relation semi-empirique [1] fournit une estimation du coefficient d'échange :  $k = 9,3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ .

30 Ainsi, pour une hauteur de bain de 60 mm, il est possible de déduire le temps caractéristique de



transfert de masse T tel que :

$$T = V/(kS) \approx 64 \text{ s}$$

où V représente le volume du bain et S l'aire de l'interface et  $\alpha$  est pris égal à  $2,8 \times 10^{-4}$ .

5 Il est aussi possible de déterminer la fréquence optimale pour le transfert de masse. Pour cela et au vu des arguments qui précèdent, il faut exciter des ondes d'interface dont la longueur d'onde est voisine de la longueur capillaire  $\lambda$  qui est telle  
10 que :

$$\lambda = (\gamma/(\rho g))^{1/2}.$$

$\lambda$  est égale à 5 mm pour l'acier liquide. Aussi est-il possible d'en déduire la fréquence de modulation f pour exciter le mouvement de surface :

$$15 \quad f = (1/(2\pi)) \times (g/\lambda)^{1/2} \approx 7 \text{ Hz}.$$

Il est important de souligner que la présente invention, qui associe un creuset froid et une haute fréquence modulée par une basse fréquence, est digne d'intérêt pour l'ensemble des activités  
20 métallurgiques d'élaboration d'alliages ou d'affinage ainsi que pour les procédés pyrochimiques avancés d'extraction et de séparation.

Elle présente effectivement l'ensemble des avantages liés à l'utilisation d'un creuset froid sans  
25 qu'aucune agitation mécanique ne soit mise en oeuvre.

Ainsi, l'ensemble des problèmes de pollution ou de corrosion liés à l'utilisation d'une agitation mécanique ou pneumatique est résolu.

En outre, la géométrie, l'intensité et les  
30 fréquences du champ des forces électromagnétiques

peuvent être choisies en fonction des effets recherchés.

De plus, il est possible d'ajouter au dispositif conforme à l'invention, que l'on voit sur la figure 2, des éléments tels que des écrans ou suscepteurs 26 (figure 2), placés de manière à mieux contrôler les gradients thermiques à l'intérieur du bain métallique 8 et du laitier 10.

La présente invention n'est pas limitée à l'agitation électromagnétique d'un système diphasique dans un creuset froid.

Elle s'applique également à l'agitation électromagnétique d'un système diphasique dans un creuset chaud.

Cette dernière application est schématiquement illustrée par la figure 4 où l'on voit un creuset chaud 28, muni de moyens 30 de circulation d'eau permettant de refroidir ce creuset chaud 28.

Ce dernier est entouré d'une résistance électrique chauffante, qui est schématisée par les traits R et alimentée par une source de courant non représentée. Cette résistance permet de chauffer le creuset 28 par effet Joule et donc de faire fondre le système diphasique (phases 8 et 10) contenu dans ce creuset.

Le dispositif de la figure 4 comprend aussi un inducteur 32 qui entoure le creuset 28 et qui est alimenté par une source 34 de courant de basse fréquence. Grâce à cet inducteur 32, on crée, dans le creuset, un champ électromagnétique de basse fréquence, permettant l'agitation de l'interface entre la phase

inférieure 8 (par exemple une phase métallique) et la phase supérieure 10 (par exemple un sel fondu).

La fréquence utilisée est choisie dans l'intervalle allant de 0,5 Hz à 10 Hz.

5           Au lieu de munir le creuset 28 de la résistance chauffante R, on peut placer ce creuset dans un suscepteur S, par exemple en graphite, lui même placé dans l'inducteur 32, et alimenter cet inducteur 34 par une source 36 de courant à deux fréquences, du genre des moyens (ou source) 18 décrits plus haut, en  
10   vue d'une part de chauffer le creuset 28 par induction (au moyen de la fréquence la plus haute), pour que ce dernier chauffe alors le système diphasique qu'il contient, et d'autre part, d'agiter l'interface des  
15   deux phases du système (au moyen de la fréquence la plus basse).

On précise en outre que l'on peut agiter la phase supérieure 10, lorsque cette dernière est peu électriquement conductrice, grâce à la basse fréquence  
20   fournie par la source 18 ou 34 ou 36, si cette basse fréquence est choisie dans la gamme allant de 0,5 Hz à 10 Hz.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de fusion et d'agitation interfaciale d'un système diphasique, ce dernier comprenant des première et deuxième phases immiscibles, séparées par une interface, ce dispositif comprenant :

- un creuset (2, 28), destiné à contenir le système diphasique, et

- des moyens de fusion et d'agitation prévus pour la fusion des première et deuxième phases et l'agitation de l'interface de celles-ci, ce dispositif étant caractérisé en ce que les moyens de fusion et d'agitation comprennent :

- un inducteur (4) entourant le creuset et  
- des moyens (18) d'alimentation de cet inducteur par un courant variable ayant au moins une composante, cette composante étant apte à agiter l'interface des première et deuxième phases.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le creuset est un creuset froid (2) et le courant variable a des première et deuxième composantes, la première composante ayant une première fréquence et étant apte à faire fondre les première et deuxième phases, la deuxième composante ayant une deuxième fréquence, qui est inférieure à la première fréquence, et étant apte à agiter l'interface des première et deuxième phases.

3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel les moyens (18) d'alimentation de l'inducteur sont aptes à fournir un courant alternatif ayant la première fréquence, ce courant alternatif étant modulé par la deuxième fréquence.

4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel les moyens d'alimentation de l'inducteur comprennent

- un condensateur (24) formant, avec l'inducteur (4), un circuit oscillant qui fonctionne à sa propre fréquence de résonance, cette fréquence de résonance formant la première fréquence,
- un générateur à induction (22) prévu pour alimenter ce circuit oscillant, et
- un générateur de fonction (20) prévu pour imposer la modulation à la deuxième fréquence et pour fournir un courant de consigne au générateur à induction.

5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel la puissance du générateur à induction (22) est dans l'intervalle allant de 10 kW à 300 kW.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, dans lequel la fréquence de résonance est dans l'intervalle allant de 1 kHz à 20 kHz.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel la fréquence de la modulation est dans l'intervalle allant de 0,5 Hz à 10 Hz.

8. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le creuset est un creuset chaud (28).

9. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la fréquence de la composante qui est apte à agiter l'interface des première et deuxième phases est choisie suffisamment basse pour que la composante soit en outre apte à agiter la deuxième phase, lorsque

cette dernière est peu électriquement conductrice, cette deuxième phase étant au-dessus de la première phase.

10. Dispositif selon l'une quelconque des  
5 revendications 1 à 9, comprenant en outre des moyens (26) de maîtrise des gradients thermiques à l'intérieur des première et deuxième phases.

11. Dispositif selon la revendication 10,  
dans lequel ces moyens de maîtrise comprennent des  
10 écrans ou des suscepteurs (26).

12. Application du dispositif selon l'une  
quelconque des revendications 1 à 11 à la fusion et  
l'agitation interfaciale d'un système diphasique dans  
lequel la première phase (8) est un métal et la  
15 deuxième phase (10) est un laitier ou un sel.

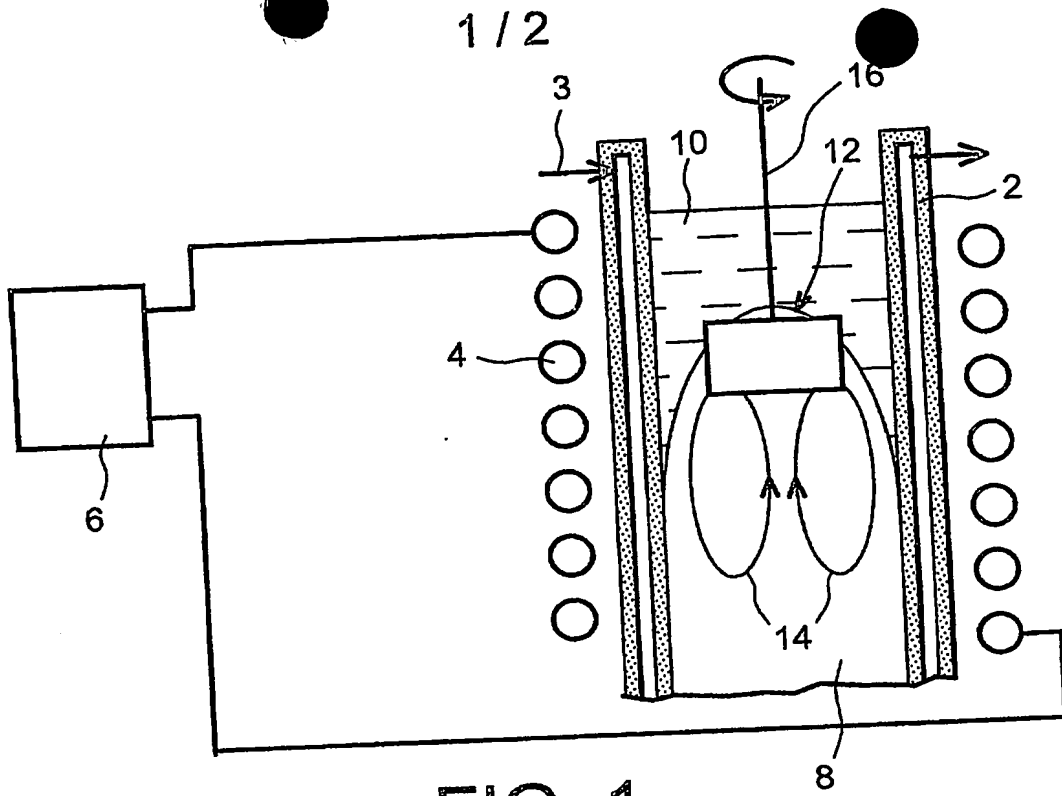


FIG. 1

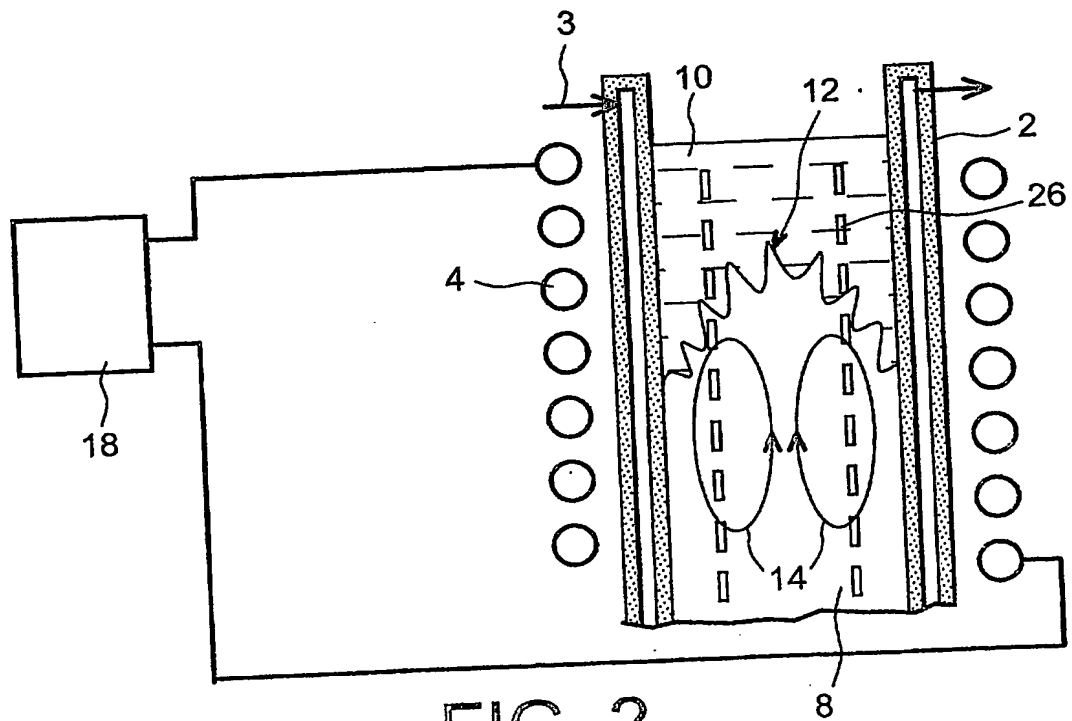


FIG. 2

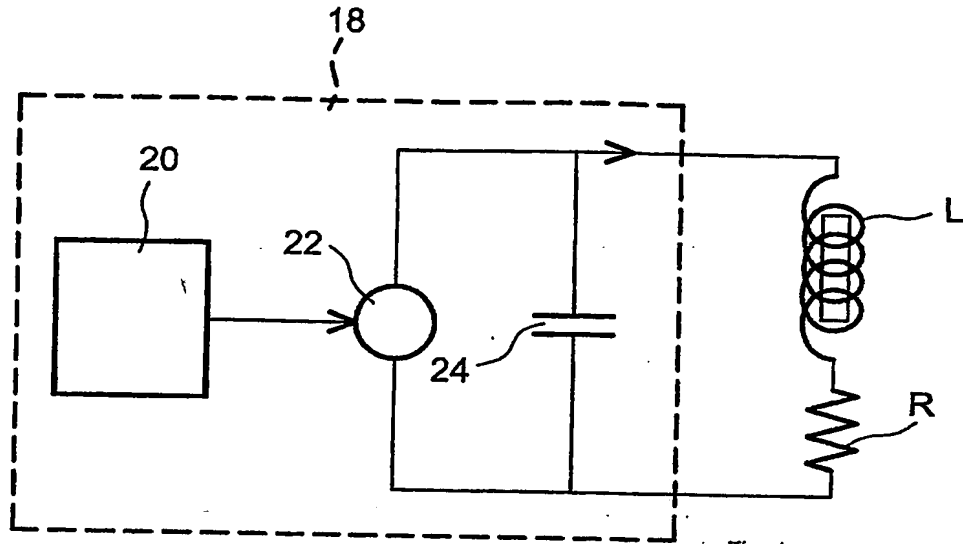


FIG. 3

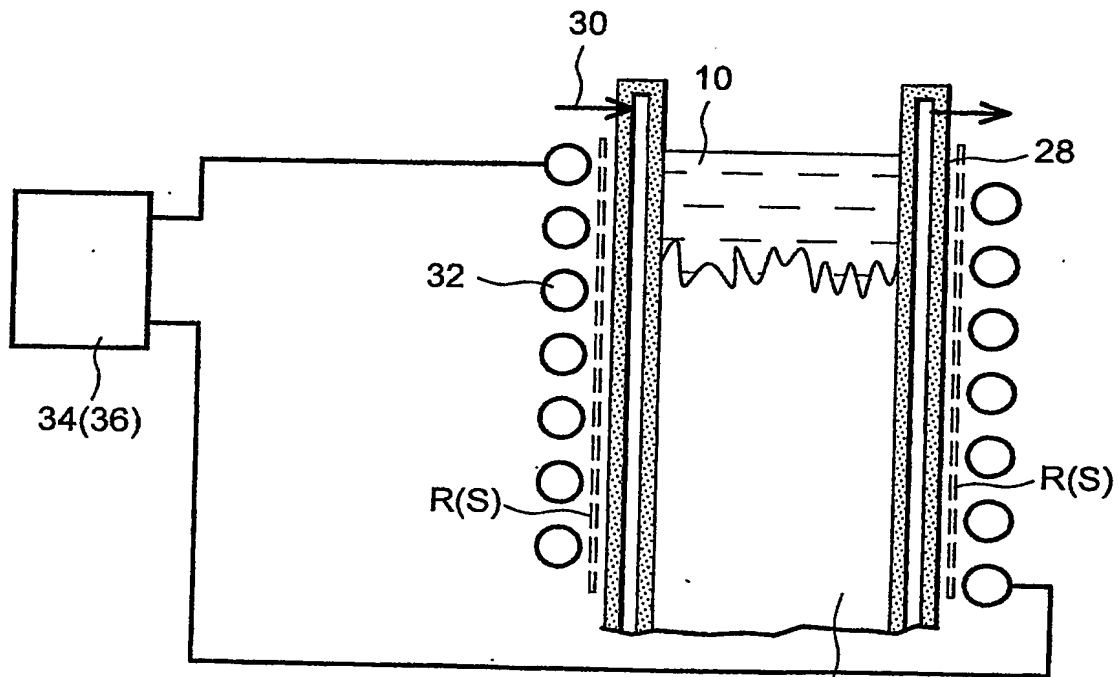


FIG. 4



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

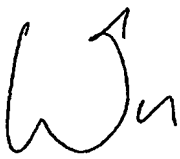
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1./3..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		B 14042.3/PV	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02.07262 du 13.06.2002	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) DISPOSITIF ELECTROMAGNETIQUE DE FUSION ET D'AGITATION INTERFACIALE DE SYSTEMES DIPHASIQUES, NOTAMMENT POUR L'ACCELERATION DE PROCESSUS METALLURGiques OU PYROCHIMIQUES			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b> COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31/33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		BOEN	
Prénoms		Roger	
Adresse	Rue	Quartier Gazelles	
	Code postal et ville	30130	SAINT-ALEXANDRE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		DESCHANELS	
Prénoms		Xavier	
Adresse	Rue	La Combe de Robin	
	Code postal et ville	30330	LE PIN
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		LEMORT	
Prénoms		Florent	
Adresse	Rue	17, Impasse des Glibris	
	Code postal et ville	30400	VILLENEUVE LES AVIGNON
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) PARIS LE 17 JUILLET 2002 J. LEHU 422-5/002			

**DÉPARTEMENT DES BREVETS**

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08


Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2. / 3..**

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif)		B 14042.3/PV	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		02.07262 du 13.06.2002	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) DISPOSITIF ELECTROMAGNETIQUE DE FUSION ET D'AGITATION INTERFACIALE DE SYSTEMES DIPHASIQUES, NOTAMMENT POUR L'ACCELERATION DE PROCESSUS METALLURGIQUES OU PYROCHIMIQUES			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b> COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31/33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		PICCINATO	
Prénoms		René	
Adresse	Rue	35, route des Trois Lucs à la Valentine Quartier Les 3 Lucs	
	Code postal et ville	13012	MARSEILLE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		FAUTRELLE	
Prénoms		Yves	
Adresse	Rue	2, Allée du Château	
	Code postal et ville	38240	MEYLAN
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		ETAY	
Prénoms		Jacqueline	
Adresse	Rue	7, allée de la Piat	
	Code postal et ville	38240	MEYLAN
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) PARIS LE 17 JUILLET 2002 J. LEHU 422-5/002			



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UNITÉ

Code de la propriété intellectuelle Livre VI

N° 11235°0

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 3. / 3.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 2608

Vos références pour ce dossier (facultatif)		B 14042.3/PV	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02.07262 du 13.06.2002	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
DISPOSITIF ELECTROMAGNETIQUE DE FUSION ET D'AGITATION INTERFACIALE DE SYSTEMES DIPHASIQUES, NOTAMMENT POUR L'ACCELERATION DE PROCESSUS METALLURGIQUES OU PYROCHIMIQUES			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31/33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		PERRIER	
Prénoms		Damien	
Adresse	Rue	18 rue Jean Prévost	
	Code postal et ville	38000	GRENOBLE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		ERNST	
Prénoms		Roland	
Adresse	Rue	8 rue Pasteur	
	Code postal et ville	38610	GIERES
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) PARIS LE 17 JUILLET 2002 J. LEHU 422-5/002			